



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM GEOPROCESSAMENTO AMBIENTAL

**APLICAÇÃO DA LÓGICA *FUZZY* NA AVALIAÇÃO E
IMPLEMENTAÇÃO DE CORREDORES ECOLÓGICOS NO
DISTRITO FEDERAL E ENTORNO**

Ryan Seiji Takahashi

MONOGRAFIA

BRASÍLIA
2019



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM GEOPROCESSAMENTO AMBIENTAL

Ryan Seiji Takahashi

**APLICAÇÃO DA LÓGICA FUZZY NA AVALIAÇÃO E
IMPLEMENTAÇÃO DE CORREDORES ECOLÓGICOS NO
DISTRITO FEDERAL E ENTORNO**

**Monografia de especialização em
Geoprocessamento Ambiental
apresentada a banca examinadora
do Instituto de Geociências como
exigência para a obtenção do título
de especialista em Geoprocessamento**

Aprovada em __/__/____

BANCA EXAMINADORA

Prof^ª. Dr^a. Rejane Ennes Cicerelli (Orientadora) _____

Prof. Dr Edson Eyji Sano _____

Prof^ª Dr^a Tati de Almeida _____

Ficha catalográfica elaborada
automaticamente, com os dados
fornecidos pelo(a) autor(a)

Ta TAKAHASHI, RYAN SEIJI
 APLICAÇÃO DA LÓGICA FUZZY NA AVALIAÇÃO E IMPLEMENTAÇÃO DE
CORREDORES ECOLÓGICOS NO DISTRITO FEDERAL E ENTORNO / RYAN
SEIJI TAKAHASHI; orientador REJANE ENNES CICERELLI. --
Brasília, .
 19 p.

 Monografia (Especialização - ESPECIALIZAÇÃO EM
GEOPROCESSAMENTO AMBIENTAL) -- Universidade de Brasília, .

 1. AHP. 2. Modelagem. 3. SIG. 4. Unidade de Conservação.
I. CICERELLI, REJANE ENNES, orient. II. Título.

AGRADECIMENTOS

Gostaria deixar meus sinceros agradecimentos, especialmente a minha família.

Aos meus pais Lindinalva, Kazuo, e ao meu irmão Matheus, que fizeram de tudo para eu me manter focado e terminar essa especialização, mesmo com as dificuldades que passamos durante esse período.

Agradeço também a Professora Rejane, por ser minha orientadora. Os professores do IG – UnB e os colegas de curso que ajudaram durante esse processo.

E por fim, meus colegas de trabalho da DOSSEL Ambiental.

APLICAÇÃO DA LÓGICA *FUZZY* NA AVALIAÇÃO E IMPLEMENTAÇÃO DE CORREDORES ECOLÓGICOS NO DISTRITO FEDERAL E ENTORNO

Ryan Seiji Takahashi¹, Rejane Ennes Cicerelli², Edson Eyji Sano³, Tati de Almeida⁴

RESUMO

De acordo com o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC), os corredores ecológicos representam a conectividade entre manchas de vegetação naturais ou seminaturais, ligando unidades de conservação (UCs), possibilitando o fluxo genético e facilitando a circulação de espécies e a recolonização de áreas degradadas. O objetivo desse trabalho é definir áreas para implementação de corredores ecológicos no Distrito Federal ao longo das seguintes UCs de Proteção Integral: Parque Nacional de Brasília, Reserva Biológica da Contagem e Estação Ecológica de Águas Emendadas. Os seguintes dados de entrada foram reclassificados de acordo com a literatura: mapas de declividade, uso e cobertura da terra, sistema viário e limites de propriedade rural, áreas de proteção permanente e reserva legal. Por meio da lógica *fuzzy* (lógica nebulosa ou difusa), foram estabelecidos pesos para cada classe e cada tipo de dado, expressos em termo de escala que varia continuamente entre 0 e 1. Com os pesos definidos, foi definido o grau de importância de cada camada para a suposta implementação do corredor ecológico a partir da metodologia denominada Processo de Análise Hierárquica (AHP), gerando-se o dado de potencialidade para criação de corredores. Com a imagem matricial de potencialidade (custo total), foi possível produzir as imagens de distância e direção de custo. Por meio da ferramenta de caminho de custo, foram determinados os caminhos de menor custo por célula e o melhor caminho único. Foram criados quatro corredores, sendo que dois corredores apresentaram as maiores aceitações e podem ser considerados aptos para serem implementados.

Palavras-Chave: AHP; Modelagem; SIG; Unidade de Conservação.

INTRODUÇÃO

A cobertura vegetal natural, ao longo dos anos, tem sofrido redução por diversos fatores, tais como expansão da agricultura intensiva, pecuária em larga escala, crescimento urbano e desmatamento ilegal, dentre outros aspectos. O processo dessa redução é definido como supressão vegetal, cujo ato é a retirada da vegetação nativa para variados usos. Uma opção para proteger áreas naturais é a criação de unidades de conservação (UCs), as quais correspondem a espaços territoriais legalmente instituídos pelo poder público para conservar seus recursos ambientais, sob regime especial de administração. As unidades de jurisdição federal estão sob um regime especial de administração e fiscalização do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), que preza pela proteção da natureza em diferentes

níveis, tais como preservação, uso sustentável, restauração e recuperação de ecossistemas degradados. No Brasil, as UCs cobrem cerca de 18% (1,5 milhões de km²) do território continental brasileiro (BRASIL, 2000; UNESCO, 2000; GANEM, 2010; MMA, 2019).

Outro exemplo de áreas que devem ser criadas ou conservadas são os corredores ecológicos. A função dos corredores ecológicos é propiciar uma proteção efetiva da natureza, reduzindo ou prevenindo a fragmentação de vegetação natural existente por meio de interligação entre diferentes modalidades de áreas protegidas e outros espaços com diferentes usos da terra. A implantação de corredores em larga escala visa reduzir e/ou controlar a fragmentação da paisagem natural, proporcionar aumento da cobertura vegetal nativa e facilitar o fluxo de animais e sementes, permitindo que espécies de plantas e animais colonizem áreas degradadas (METZGER, 1999; MMA, 2007).

Dentro deste contexto, esse trabalho tem por objetivo propor traçados de corredores ecológicos em uma área do Bioma Cerrado na região central do Brasil, conectando três UCs de alta importância para a conservação da biodiversidade na região do Distrito Federal (DF) e entorno: o Parque Nacional (PARNA) de Brasília, a Reserva Biológica (REBIO) da Contagem e a Estação Ecológica (ESEC) das Águas Emendadas (SCHWAIDA et al., 2017).

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo

A área de estudo localiza-se na parte norte do DF, englobando parte dos municípios goianos de Planaltina e Padre Bernardo (Figura 1). Essa área possui um total de aproximadamente 355 mil hectares e foi definida a partir de um retângulo envolvente englobando as três UCs em questão (PARNA de Brasília, REBIO da Contagem e ESEC de Águas Emendadas). De acordo com o mapa de uso e ocupação da terra de 2017 (MapBiomas, 2019), a área de estudo é coberta por 26% de formações savânicas, 20% de formações florestais, 20% de formações campestres, 16% de pastagens plantadas, 7% de culturas agrícolas, 6% de corpos d'água, 4% de áreas urbanas e 1% de outras categorias menores.

O PARNA de Brasília possui uma área de 42.356 hectares e foi criado a partir do Decreto nº 241, de 29 de novembro de 1961, tendo seus limites alterados pela Lei nº 11.285, de 8 de março de 2006. A ESEC de Águas Emendadas foi criada a partir do Decreto Estadual nº 11137, de 16 de junho de 1988, cobrindo uma área de 9.180 hectares. A REBIO da Contagem foi criada a partir do Decreto Federal s/n de 13 de dezembro de 2002, possuindo uma área de 3.426 hectares.

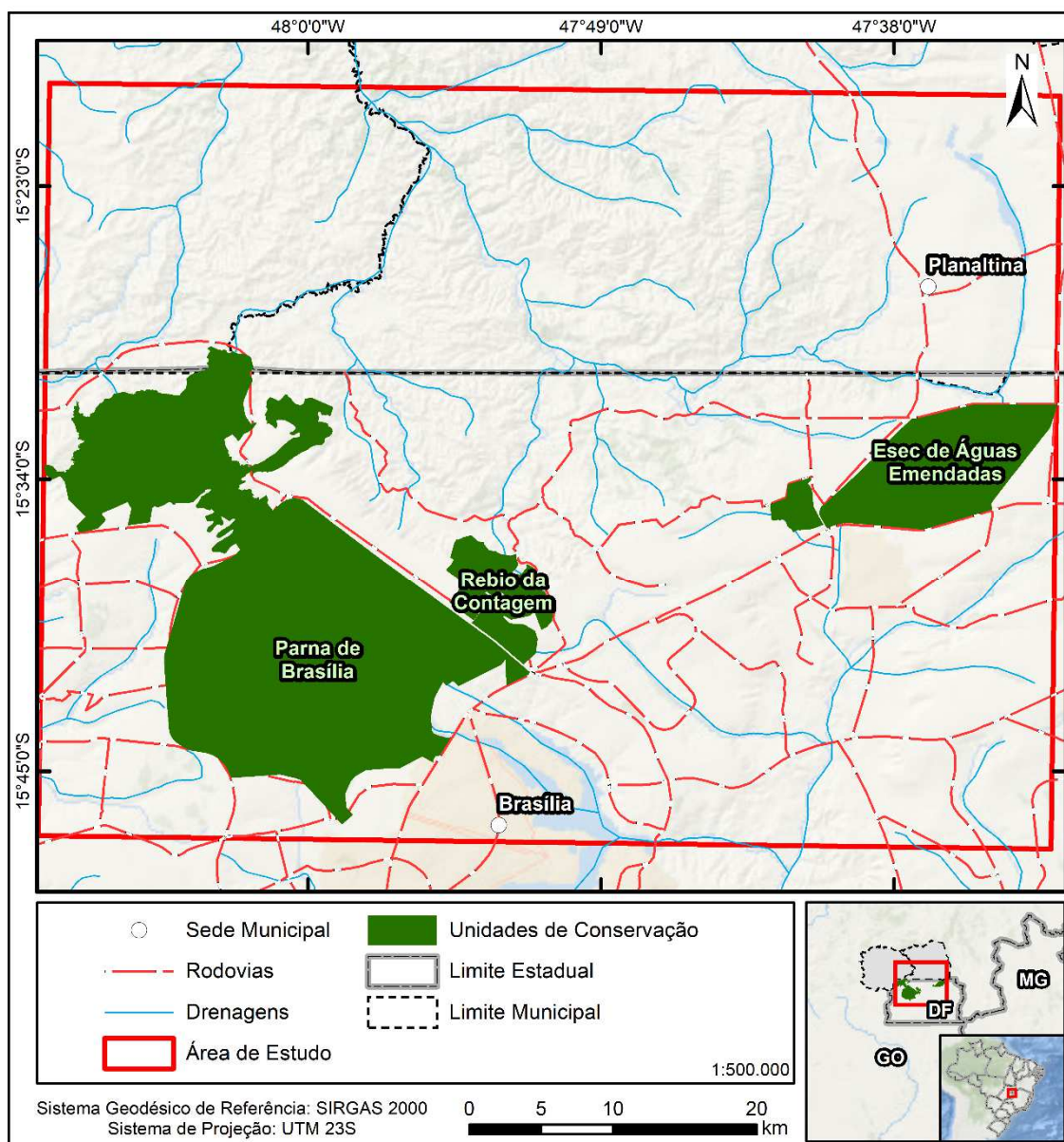


FIGURA 1: Localização da área de estudo no Distrito Federal e entorno, englobando Parque Nacional (PARNA) de Brasília, Reserva Biológica (REBIO) da Contagem e Estação Ecológica (ESEC) de Águas Emendadas.

Materiais

Os materiais básicos desse estudo foram: mapas do modelo digital de elevação (MDE), uso e cobertura da terra, sistema viário e limites de propriedade rural, áreas de proteção permanente (APP) e reserva legal (RL), disponibilizados no Sistema de Cadastro Ambiental Rural (SICAR).

O dado de uso e cobertura da terra foi produzido pelo projeto Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo do Brasil (Projeto MapBiomass), ano de 2017, versão 3.0 (MAPBIOMAS, 2019). Foi feito recorte para a área de estudo, onde foram encontradas as

seguintes classes de uso e cobertura da terra: Formação Florestal; Formação Savânica; Floresta Plantada; Formação Campestre; Pastagem; Cultura Anual e Perene; Mosaico de Agricultura e Pastagem; Infraestrutura Urbana; Mineração; e Rio, Lago e Oceano. A partir da visualização e atribuição de valores em cada classe, o dado foi adaptado seguindo a classificação de Schwaida et al. (2017).

Os dados de estradas, pontes e viadutos do ano de 2016 e na escala de 1:100.000, foram obtidos das páginas eletrônicas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e do Sistema Estadual de Geoinformação de Goiás (SIEG). Nos lugares em que era possível visualizar pontes, foram retirados os segmentos correspondentes, pois essas passagens inferiores facilitam a travessia da fauna e impedem atropelamentos. Nos locais que só existiam a localização de pontes e viadutos, foi feita a vetorização, com base em imagens mais recentes de alta resolução no programa *Google Earth*, estendendo as feições de estradas e aumentando a quantidade e a precisão desse dado.

Adotou-se, em todas as bases cartográficas obtidas, figuras e mapas elaborados, o sistema de projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), datum horizontal SIRGAS 2000 e fuso UTM 23S. Os dados originais em formato vetorial foram convertidos para formato *raster*, todos na resolução espacial de 12,5 metros.

As APPs foram obtidas através dos dados de hidrografia do IBGE de 2016. Foram selecionadas somente as feições classificadas como perenes. De acordo com o Código Florestal (Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012), as APPs são definidas como “área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas”. Seguindo a legislação vigente do Código Florestal, incluídas a partir da Lei nº 12.727, de outubro de 2012, as faixas marginais do curso d’água natural, desde a borda da calha do leito, com até 10 metros de largura, possui 30 metros de área preservadas. Cursos d’água de 10 a 50 metros de largura possui 50 metros de área preservada. Com as APPs definidas, o dado foi transformado em uma imagem matricial. Os lugares onde têm APP foi dado valor 1 e quando não existe, valor 9. Isso se deu ao fato que as APPs são áreas mais apropriadas para corredores e que são áreas de preservação por lei, aumentando os custos de implementação (BRASIL, 2012).

A RL, de acordo com o Código Florestal, é definida como “área localizada no interior de uma propriedade ou posse rural, delimitada nos termos do art. 12, com a função de assegurar o uso econômico de modo sustentável dos recursos naturais do imóvel rural, auxiliar a conservação e a reabilitação dos processos ecológicos e promover a conservação da biodiversidade, bem como o abrigo e a proteção de fauna silvestre e da flora nativa”. Considerando-se que a área de estudo está localizada no Bioma Cerrado, a legislação florestal brasileira exige que todas as propriedades mantenham 20% da área correspondente ao total do

imóvel rural com cobertura vegetal nativa. A RL, que junto com as APPs, tem o objetivo de garantir a preservação da biodiversidade local, é um avanço legal na tentativa de conter o desmatamento e a pressão da agropecuária sobre as áreas de florestas e vegetação nativa. Um dos motivos de utilizar esses dois dados como entrada, é o direcionamento do corredor ecológico, fazendo uso dessas áreas, fortalece a preservação e a recuperação delas (BRASIL, 2012).

Outro dado utilizado obtido no SICAR foi o limite dos imóveis, os quais, nesse sistema, são classificados por módulos fiscais (MF). No DF, cada MF equivale a 5 hectares; no município de Planaltina, a 35 hectares; e no município de Padre Bernardo, a 40 hectares. Essa classificação foi proposta pela Lei nº 8.629/1993, em que as propriedades foram divididas em pequena (entre 1 e 4 MFs), média (entre 4 e 15 MFs) e grande (> 15 MFs). O MF é utilizado como parâmetro legal para aplicação em diversos contextos, como na definição de benefícios atribuídos à pequena propriedade ou posse rural familiar; na definição de faixas mínimas para recomposição de APPs; e na manutenção ou recomposição de RL, entre outros.

Metodologia

A metodologia apresentada no trabalho é possível observar no fluxograma na Figura 2 abaixo. As principais etapas foram: escolha da área de estudo, obtenção dos dados de entrada, padronização dos dados, padronização espacial, inferência *Fuzzy* (aplicação da função de pertinência) e a aplicação da AHP.

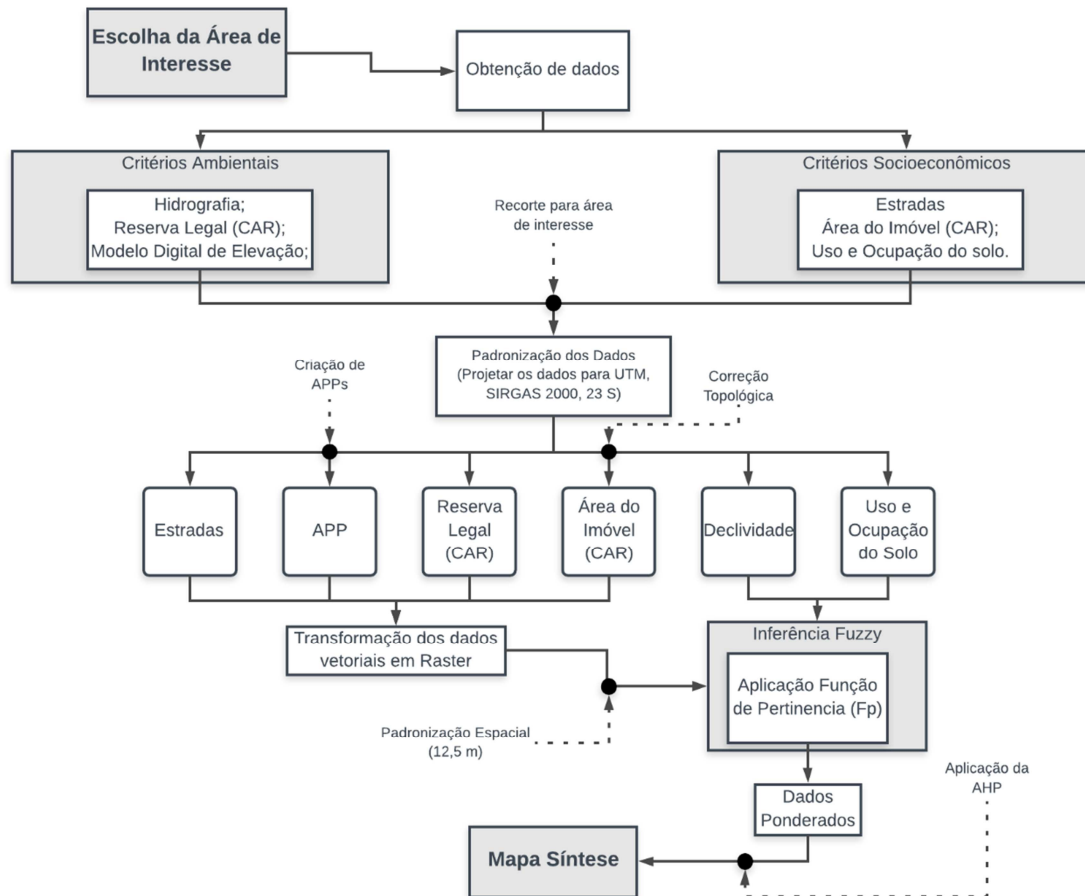


FIGURA 2: Fluxograma da metodologia utilizada.

Na Tabela 1 é possível observar os dados de entrada separados em: o tipo dado de entrada, a fonte, formato, as classes, os pesos utilizados e a referência.

Dado de entrada	Fonte	Formato	Classe	Peso	Referência
Declividade	MDE do satélite ALOS	Raster	> 45° (APP)	1	Louzada et al. (2012)
			20° - 45° (uso restrito)	3	
			< 20° (agricultável com mecanização)	9	
Uso e cobertura da terra	Projeto MapBiomias v. 3.0	Raster	Formação florestal	1	Adaptado de Schwaida et al. (2017)
			Formação savânica	1	
			Floresta plantada	2	
			Formação campestre	3	
			Cultura anual e perene	3	
			Pastagem	6	
			Mosaico de agricultura e pastagem	6	
			Rio, lago e oceano	6	
			Mineração	9	
			Área urbana	9	
APP	Drenagem IBGE, 1:50.000	Vetorial	Sim	1	Schwaida et al. (2017)
			Não	9	
Estradas	Estradas IBGE, 1:50.000	Vetorial	8 m	9	Adaptado de Santos (2017)
			500 m	9	
			1000 m	7	
			1500 m	5	
			2000 m	3	
			5000 m	1	
Imóvel	SICAR	Vetorial	Sem informação*	1	Definido pelos autores
			> 15 MF	1	
			4 - 15 MF	3	
			0 - 4 MF	9	
Reserva Legal	SICAR	Vetorial	Sim	1	Definido pelos autores
			Não	9	

148

149 O dado de declividade foi produzido a partir do modelo digital de elevação (MDE)
150 produzido com base nas imagens do satélite *Advanced Land Observing Satellite* (ALOS-1
151 PALSAR) e disponível no site do *Alaska Satellite Facility*, com resolução espacial de 12,5
152 metros.pela. Foi utilizada a ferramenta *Slope*, disponível no *ArcMap* 10.5, gerando o dado em
153 graus, sendo classificada com três valores de quebra: <20° (agricultável com mecanização), 45°
154 (uso restrito) e >45° (APP), conforme Louzada et al. (2012). A partir dos valores de quebra,
155 foram atribuídos peso 9 para a classe 1 (<20°), peso 3 para a classe 2 (45°) e peso 1 para a
156 classe 3 (>45°), dentro de uma escala que varia de 1 a 9 (SCHWAIDA et al., 2017). Áreas com

menor declividade favorecem a agricultura mecanizada, implicando em maior custo de instauração de corredores ecológicos. Esse dado foi submetido à lógica *fuzzy*, transformando o dado de entrada em uma escala linear de 0 a 1. De acordo com Burrough (1989), a utilização dessa lógica é para tratar fenômenos ambíguos ou vagos, diferindo da teoria clássica de conjuntos (álgebra booleana), onde o grau de pertinência é definido como verdadeira ou falsa, ou seja, entre 0 e 1. Na lógica *fuzzy*, o grau de pertinência é expresso em termos de escala e varia continuamente entre 0 e 1, podendo assumir valores reais.

Para o dado de uso e ocupação da terra, foi realizada a reclassificação e submetido à lógica *fuzzy*. Foi feito também, um levantamento de dados sobre o uso e ocupação do solo, obtido do MapBiomass. Realizou um recorte do dado de uso e ocupação do solo para cada corredor, depois foi transformado para vetor, sendo assim possível calcular a área de cada classe dentro do corredor e o quanto o caminho está interceptado em cada classe de uso e ocupação.

Foram gerados *buffers* ao longo das estradas, considerando-se os seguintes tamanhos: 8 m (que representa as estradas), 500 m, 1000 m, 1500 m, 2000 m e 5000 m. Quanto mais próximo de estradas, maior o impacto como perturbação e formação de barreiras, impedindo a passagem e consequentemente causando atropelamentos, portanto, pior a implementação de corredores (VAN DER GRAFT, 2013; SANTOS, 2017).

As áreas de RL foram reclassificadas com o valor 1, pois são áreas apropriadas para corredor. Depois da reclassificação, foi utilizada a ferramenta *Fuzzy Membership*, disponível no *ArcMap* 10.5. Os imóveis rurais cadastrados no Cadastro Ambiental Rural (CAR) foram analisados, observando a viabilidade na instalação dos corredores ecológicos com base na previsão legal de manutenção de APPs e RLs.

Foi feita a correção topológica dos dados para eliminar inconsistências nas áreas das propriedades. A principal inconsistência é a sobreposição, isto é, duas áreas de propriedades diferentes sobrepostas em um único polígono maior. Isso pode ocorrer quando o proprietário possui uma grande propriedade e faz o loteamento para terceiros. Pela legislação, o grande proprietário faz o cadastro de sua propriedade como um todo e os terceiros também fazem de suas menores. Foram atribuídos pesos para as classes, sendo que foram separadas em quatro classes: Sem Informação (*), até 4 módulos, até 15 módulos e maiores que 15 módulos. Depois de transformar para *raster* os dados ficaram com a reclassificação de acordo com a Tabela 1 (BRASIL, 1993; 2012).

A ferramenta utilizada para a normalização dos dados foi o *Fuzzy Membership*, disponível no programa *ArcMap* 10.5. Essa ferramenta aplica a lógica *fuzzy*, indicando a força de uma associação em um conjunto, com base em um algoritmo de fuzzificação, especificado principalmente nas classes em que as imprecisões caracterizam e que podem ter ou não fronteiras bem definidas. Lembrando que para todos os dados de entrada matricial, quanto

vetorial, foram submetidos a função linear da lógica *Fuzzy*, com seu mínimo de 1 e máximo de 9, respectivamente.

Depois de definidas as classes em cada camada de entrada, foi utilizada uma análise multicritério, optando-se pelo Processo Hierárquico Analítico (AHP - *Analytical Hierarchy Process*) que consiste em modelagem de dados que permite a ponderação de diversos fatores envolvidos em processos de diagnósticos e tomadas de decisão, auxiliando a integração objetiva de indicadores (SAATY, 1977). O AHP tem a finalidade de reduzir a subjetividade das interpretações por meio do estabelecimento de uma hierarquia de soluções com quantificação dos atributos e suas correlações. Contribuindo com a construção conceitual, foi possível visualizar a metodologia AHP como uma estrutura hierárquica de decisão, composta por níveis de importância com uma visão holística das relações inerentes ao processo, onde existe a categorização e ponderação de matrizes de comparação para cada nível (OLIVEIRA, 2007; DIAS, 2014; SAITO, 2015; ARGYRIOU et al., 2016).

A obtenção do modelo hierárquico depende da construção de matrizes quadradas recíprocas positivas, cuja ordem será igual ao número de alternativas. Desta forma, define-se o peso de cada uma das variáveis e/ou indicadores com sua soma igual a 1, como uma condição necessária para a combinação linear ponderada dos critérios (DIAS, 2014; SILVA JÚNIOR, 2015). De acordo com Raffo (2012) e Sahoo et al. (2016), essa estrutura possibilita, a partir de variáveis selecionadas, estabelecer cenários para tomada de decisão. O método AHP pondera, quantitativamente, variáveis mediante correlações qualitativas, organizando e estabelecendo um modelo racional de combinação de dados (GAUER, 2015).

Para calcular os pesos da AHP, foi utilizada a calculadora online de Goepel (2018). Foi possível definir as seis camadas de entradas e repassar para cinco especialistas preencherem. Os especialistas foram das seguintes áreas: Engenharia, Geologia e Socioeconomia. Foi possível gerar a matriz de decisão consolidada, junto com o coeficiente de consistência (CR), que foi de 1,6% e o dado de consenso das informações para o grupo, que foi de 73,7% (moderado). Nessa matriz (Tabela 2), é possível ver a agregação dos julgamentos para os cinco participantes.

221 TABELA 2: Matriz de decisão consolidada.

	APP	Estradas	Reserva Legal	Imóvel	Uso e ocupação da terra	Declividade
APP	1	3,02	4,04	5,09	1,40	6,11
Estradas	0,33	1	1,25	1,28	0,50	2,93
Reserva Legal	0,25	0,80	1	1,78	0,69	3,90
Imóvel	0,20	0,78	0,56	1	0,31	2,34
Uso e ocupação da terra	0,72	1,99	1,44	3,25	1	6,89
Declividade	0,16	0,34	0,26	0,43	0,15	1

222

223 O resultado com os dados consolidados dos cinco especialistas, é possível observar na
 224 Tabela 3 e na Figura 3.

225

226 TABELA 3: Hierarquia de decisão da AHP e o *ranking*.

Nível		Peso	Porcentagem (%)	Ranking
0	1			
	APP	0,125	12,5	4
	Distância das estradas	0,131	13,1	3
Corredor ecológico	Reserva legal	0,082	8,2	5
	Área do imóvel	0,246	24,6	2
	Uso e ocupação da terra	0,041	4,1	6
	Declividade	0,375	37,5	1
TOTAL		1	100	

227

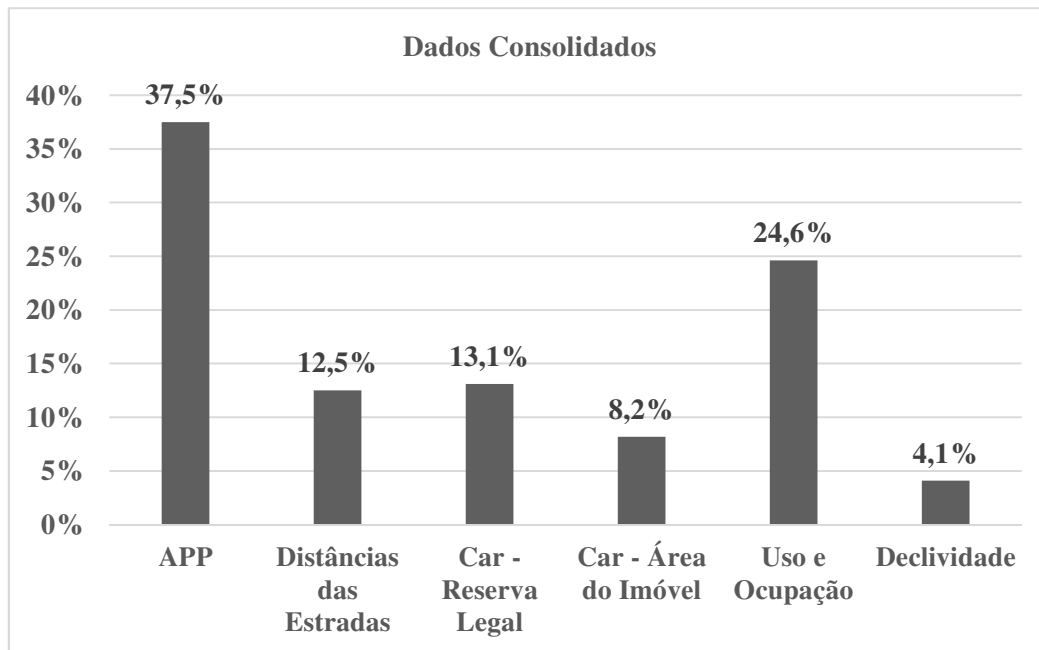


FIGURA 3: Gráfico dos dados consolidados dos cinco especialistas.

Com os dados normalizados pela lógica *fuzzy*, pesos definidos para cada camada de entrada e a razão de consistência ser considera menor que 10%, foi gerada a imagem matricial de potencialidade, utilizando a ferramenta *Raster Calculator* a partir da fórmula abaixo (SANTOS, 2017).

Cálculo da potencialidade = (Uso e Ocupação * 0,246) + (Distância das Estradas * 0,125) + (Declividade * 0,041) + (CAR – Reserva Legal * 0,131) + (CAR – Área do Imóvel * 0,082) + (APP * 0,375)

Com a imagem matricial de potencialidade (custo total), foi possível produzir as imagens de distância de custo e direção de custo. Essas duas matrizes foram fundamentais para gerar, a partir da ferramenta de caminho de custo, os caminhos de menor custo por célula e o melhor caminho único. O resultado em formato *raster* foi transformado para formato vetorial e os caminhos gerados foram analisados em comparação com os dados iniciais de estradas, pontes, APPs, área do imóvel e RL. Com os traçados separados, foi também gerado um corredor seguindo a Resolução do CONAMA nº 9, de 24 de outubro de 1996, fixando a largura total dos corredores em 10% do comprimento total (BRASIL, 1996; SCHWAIDA et al., 2017).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram gerados cinco caminhos pela análise de custos, sendo que quatro foram a partir do caminho de menor custo por célula e um pelo melhor caminho único (Figura 4). Um dos corredores de menor custo apresentou praticamente o mesmo comportamento do caminho

definido pelo melhor caminho, por isso ele foi desconsiderado. Esses resultados podem ser considerados como alternativas para a implementação de corredores ecológicos, lembrando que os critérios e as metodologias foram baseados na literatura e nos julgamentos de especialistas de diferentes áreas.

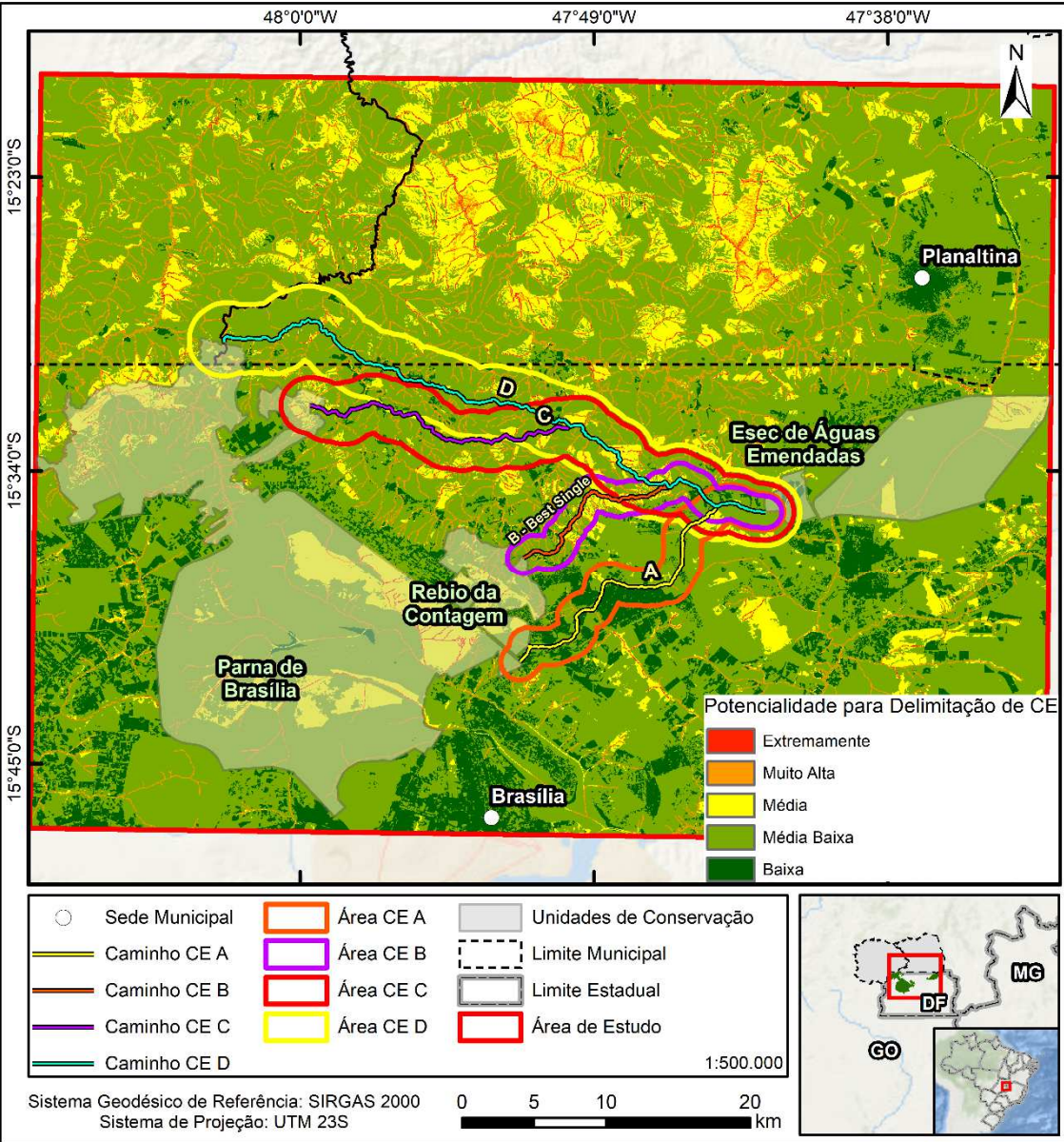


FIGURA 4: Localização dos caminhos, corredores e potencialidade.

A partir dos caminhos gerados, cada caminho foi separado, nomeado e atribuído a faixa de acordo com a resolução do CONAMA nº 9/1996 em relação ao tamanho do corredor (*buffer*). Os caminhos A, C e D foram definidos através da opção menor custo por células e o caminho B pela opção melhor caminho único. As extensões dos caminhos são, respectivamente, de 25,11

km (A), 21,77 km (B), 38,61 km (C) e 46,56 km (D). As áreas dos corredores para cada caminho são de 6.534 ha (A); 4.855 ha (B); 14.779 ha(C); e 21.389 ha (D).

Conforme a Tabela 4, é possível observar as porcentagens em relação da extensão interceptada com a extensão total do caminho. É possível observar também a relação da área de cada classe em relação ao total do corredor, obtido também em porcentagem.

TABELA 4: Dados de uso e ocupação detalhado por caminho e por corredor.

Caminho	A		B - Best Single		C		D	
Extensão (km)	25,11		21,77		38,61		46,56	
Corredor - 10% (Largura em km)	2,51		2,18		3,86		4,66	
Corredor - Área (ha)	6534		4855		14779		21389	
Intersecção do Traçado (Uso e Ocupação)	km	%	km	%	km	%	km	%
Formação Campestre	2,00	7,96	0,68	3,14	1,27	3,29	1,27	2,72
Formação Florestal	15,63	62,24	13,36	61,36	22,69	58,77	29,57	63,52
Formação Savânica	5,25	20,93	4,81	22,10	10,61	27,48	11,42	24,52
Infraestrutura Urbana	0,31	1,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mosaico de Agricultura e Pastagem	0,76	3,03	0,66	3,05	1,30	3,38	0,93	2,00
Pastagem	0,88	3,50	1,98	9,08	2,46	6,37	3,07	6,59
Rio, Lago e Oceano	0,28	1,10	0,28	1,26	0,28	0,71	0,28	0,59
Sem Informação*	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,07
Uso e Ocupação no Corredor	Área (ha)	%	Área (ha)	%	Área (ha)	%	Área (ha)	%
Cultura Anual e Perene	189,61	2,90	163,89	3,38	358,53	2,43	500,13	2,34
Floresta Plantada	31,93	0,49	31,93	0,66	31,93	0,22	32,71	0,15
Formação Campestre	1262,12	19,31	488,61	10,06	1634,92	11,06	2882,57	13,48
Formação Florestal	960,58	14,70	1407,02	28,98	4688,08	31,72	6233,54	29,14
Formação Savânica	1125,14	17,22	1480,02	30,48	4095,13	27,71	5489,79	25,67

Infraestrutur a Urbana	1314,54	20,1 2	52,48	1,08	9,41	0,06	23,56	0,11
Mineração	3,11	0,05	0,00	0,00	5,53	0,04	0,00	0,00
Mosaico de Agricultura e Pastagem	565,06	8,65	325,57	6,70	968,12	6,55	1277,00	5,97
Pastagem	1073,91	16,4 3	895,75	18,4 5	2935,24	19,8 6	4849,29	22,6 7
Rio, Lago e Oceano	6,82	0,10	10,79	0,22	51,87	0,35	98,30	0,46
Sem Informação*	2,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	1,73	0,01

Praticamente todos os caminhos tiveram o mesmo comportamento em relação à intersecção dos caminhos com o dado de uso e ocupação. O padrão foi interceptar em sua maioria a classe de Formação Florestal, seguido por Formação Savânica. Um ponto observado nesse dado é que o caminho A foi o único a interceptar a classe de Infraestrutura Urbana, sendo que para a implementação de corredores, não é aconselhável passar dentro de benfeitorias. Lembrando que a classe “Sem Informação*” surgiu na transformação de *raster* para vetor, portanto ela pode ser considerada como um “Ruído”, sem grandes interferências.

Foi possível também observar a diferença no comportamento do corredor do caminho A em relação a área de Infraestrutura. No caminho A, ele possui 20,12%, enquanto os outros possuem respectivamente 1,08% B; 0,06% C e 0,11% D. Confirmando novamente que A não é recomendável em relação a proposta de corredores. Foi gerada ainda uma tabela com informações a respeito dos outros dados de entrada, como as APPs, Declividade, RL, Área do Imóvel e por últimos as estradas (Tabela 5).

TABELA 5: Dados com os outros valores de entrada detalhado por caminho e corredor.

Caminho	A		B - Best Single		C		D	
Extensão (km)	25,11		21,77		38,61		46,56	
Corredor - 10% (Largura em km)	2,51		2,18		3,86		4,66	
Corredor - Área (ha)	6534,84		4855,82		14779,01		21389,22	
Intersecção do Traçado	km	%	km	%	km	%	km	%
APP (km)	14,7 6	58,77	11,4 0	52,37	26,0 3	67,42	31,6 1	67,88
Reserva Legal - CAR	6,29	25,03	7,51	34,49	6,27	16,24	10,7 6	23,11
Área Imóvel - CAR	km	%	km	%	km	%	km	%

ate 4 MF	1,65	6,56	1,59	7,29	1,50	3,89	1,15	2,47
ate 15 MF	3,19	12,72	1,31	6,01	0,66	1,70	1,09	2,35
> 15 MF	18,6 3	74,20	15,8 3	72,71	23,4 9	60,85	26,1 8	56,22
Sem Informação	1,64	6,51	3,04	13,98	12,9 5	33,55	18,1 4	38,96
Declividade	km	%	km	%	km	%	km	%
< 20° (agricultável mecanicamente)	24,2 8	96,70	16,8 8	77,53	34,5 2	89,42	42,2 6	90,76
20° - 45° (uso restrito)	0,83	3,30	4,89	22,47	4,09	10,58	4,30	9,24
> 45° (Área de Preservação Permanente)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Estradas (Und.)	9		10		8		15	
APP (Und.)	6		9		13		10	
Área Imovel - CAR (Und)								
ate 4 MF	11		6		8		6	
ate 15 MF	10		3		5		6	
> 15 MF	2		4		5		5	

287

288 É importante observar que na Tabela 5 existem dois tipos de dados, a extensão do
289 quando o caminho intercepta em quilômetros/porcentagem e a quantidade de interceptações
290 feitas em unidades. Nos quatro corredores, novamente ocorre um padrão. Aproximadamente
291 50% de sua extensão total está dentro, cortando ou acompanhando uma APP. Por exemplo no
292 caminho D, ele possui uma extensão total de 46,56 km, sendo que 31,61 km da extensão está
293 interceptando as APPs, isso corresponde um total de 67,88%.

294 Para o dado de RL, usou o mesmo raciocínio, só que como os dados obtidos no SICAR,
295 onde não há uma análise bem detalhada dos dados, podendo encontrar erros. Na maioria dos
296 dados obtidos, pode haver erros topológicos, como sobreposições de informações, dados
297 duplicados, tamanho do polígono ser diferente do original e dentre outros. O comportamento
298 dos caminhos foi interceptar em torno de 20% da sua extensão total, áreas com reservas legais.

299 No dado de Área de Imóvel, foi verificado dois tipos de dados. O primeiro é a
300 quantidade de propriedades interceptadas para cada caminho, mesmo o caminho cruzando um
301 pedaço pequeno da propriedade. Aqui o dado foi dividido em três categorias até quatro MFs, até

15 MFs e maior que 15 MFs. É possível verificar na tabela, o corredor que interceptou a maior quantidade de imóveis rurais foi o caminho A com 36 propriedades, seguido pelo caminho C com 18, depois caminho D com 17 e por último o caminho B com 13 imóveis.

O segundo tipo de informação é o quanto cada caminho está interceptando cada categoria, sendo que aqui foram definidas quatro categorias: “Sem informação”, até quatro MFs, até 15 MFs e maior que 15 MFs. O que chama atenção é a categoria “Sem Informação”, que inclui áreas que não possuem cadastro no SICAR, que teoricamente todas as áreas rurais eram para ser cadastradas, sendo que esse programa vem sendo prorrogado já tem um tempo. De acordo com os dados, foi possível notar que a maioria dos caminhos passaram pelas grandes propriedades. Isso quer dizer que foram nos locais que são maiores que 15 MFs e nas áreas que não possui registro no SICAR. De acordo com os dados apresentados e comparados, a preferência de definir um corredor ecológico como o mais correto, ainda não é suficiente no momento. É necessária uma mobilização de equipes em campo do meio socioambiental, físico e biótico.

O meio socioambiental ficaria responsável por tratar diretamente com os proprietários de imóveis rurais, assentamentos ou comunidades tradicionais, se existir. Eles teriam autonomia de verificar se a área é regularizada no SICAR, conferir os documentos e confirmar com o tamanho da área atual e possivelmente promover ações de educação ambiental em locais remotos, enfatizando a importância dos corredores ecológicos. O meio físico atuaria no levantamento geológico, geomorfológico, hidrológico e pedológico. Apresentando e validando os dados, que resultaria uma maior diversificação de informação para serem usados como camada de entrada para adquirir a matriz de potencialidade e delimitar corredores ecológicos. O meio biótico tem a responsabilidade de monitorar principalmente as áreas que são indicadas com o maior risco para todos os tipos de animais e as ocorrências de espécies nativas em APPs ou em RLs. Uma das áreas que devem ser monitoradas são aquelas que ficam nas margens das UCs. Normalmente essas áreas são margeadas por estradas tanto pavimentadas ou não pavimentadas, ocorrendo muitos casos de atropelamentos de animais silvestres.

A iniciativa de utilizar os dados do CAR foi um dos principais fatores para a elaboração desse trabalho. Desde a aquisição dos dados até o final dos resultados, eram esperados maiores esclarecimentos sobre o que realmente é o CAR. Os dados, mesmo com a inconsistência, serviram como um potencial para o planejamento ambiental e para a conservação da biodiversidade. Se o órgão ambiental começar a utilizar esses dados para enquadrar propriedades/imóveis rurais em programa do governo, como por exemplo o Programa de Regularização Ambiental (PRA). Leis criadas para dar apoio à agricultura de subsistência e agricultura familiar serão geridas de uma melhor forma, tendo em vista que as pequenas propriedades recebam apoio financeiro e técnico. Lembrando que os pequenos proprietários causam menos dano ao meio ambiente comparado com grandes proprietários, que não cumprem

a regra de manter remanescentes florestais, áreas de proteção permanente, que são áreas preservadas por lei e de grande potencial para implementação de corredores, deixando essa concorrência desleal com o pequeno produtor (SCHWAIDA et al., 2017).

CONCLUSÕES

O corredor mais indicado é o caminho (C), vindo a seguir, o caminho (D). O caminho (C) tem 38,61 km de extensão e seu corredor possui uma área total de 14.779 hectares. Ele foi mais indicado pelo fato de interceptar Fragmentos Florestais em 59% de sua extensão total, 27,48% em Formação Savânica e 3% em Formação Campestre. Esse traçado está 67% de sua extensão dentro de APPs e 16% do total em RL. Por fim, o caminho cruzou 18 imóveis do CAR, interceptando 61% de toda extensão em áreas maiores que 15 módulos fiscais.

A metodologia desenvolvida e empregada neste trabalho, com uso das ferramentas como normalização pela lógica *fuzzy* e de análise de custo aliado ao AHP com os pesos aplicados, mostrou-se eficiente para determinar trajetos para implementação de corredores ecológicos. O uso das camadas referente às APPs e RLs possibilitaram identificar traçados de menor custo de implementação, interceptando áreas vegetadas com proteção legal. Os resultados gerados a partir dos sistemas de informação geográfica devem ser comparados com dados de ocorrência e deslocamento das espécies alvo na área dos corredores, incluindo registros de atropelamento, visando à validação e ajustes, se necessário.

REFERÊNCIAS

AYRES, J. M.; FONSECA, G. A.; RYLANDS, A. B.; QUEIROZ, H. L.; PINTO, L. P.; MASTERSON, D.; CAVALCANTI, R. B. **Os corredores ecológicos das florestas tropicais do Brasil**. Belém: Sociedade Civil Mamirauá, 2005, 256 p.

ARGYRIOU, A.V.; TEEUW, R. M.; RUST, D.; SARRIS, A. GIS multicriteria decision analysis for evaluation and mapping of landscape deformation neotectonics: A case study from Crete. **Geomorphology**, p. 262 –274, 2016.

BURROUGH, P. A. Fuzzy mathematical methods for soil survey and land evaluation. **Journal of Soil Science**, v. 40, n. 3, p. 477-492, 1989.

DIAS, V. S. B. AHP na modelagem da vulnerabilidade ambiental do minicorredor ecológico Serra das Onças (BA). **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 6.66/6, p. 1363-1377, 2014.

DOYLE, P. M. M. C. **Reserva da biosfera do Cerrado no Distrito Federal**. Brasília: IBRAM, 2009.

GANEM, R. S. Gestão integrada da biodiversidade: corredores, mosaicos e reservas da biosfera. In: GANEM, R. S. (org.). **Conservação da biodiversidade: legislação e políticas públicas**. Brasília: Câmara dos Deputados, p. 387-414, 2010.

GAUER, N. P. **Avaliação da vulnerabilidade ambiental por meio de um modelo de análise multicritério no norte da planície costeira do Rio Grande do Sul, Brasil**. Monografia em Ciências Biológicas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. IMBÈ, 2015.

Goepel, K. D. Implementation of an online software tool for the Analytic Hierarchy Process (AHP-OS). **International Journal of the Analytic Hierarchy Process**, v. 10, n. 3, p. 469-487, 2018.

GOMIDE, F. A. C.; GUDWIN, R. R. **Modelagem, controle, sistemas e lógica fuzzy**. Campinas: UNICAMP, 1994.

LOUZADA, F. L. R. O. Proposta de corredores ecológicos para interligação de parques estaduais utilizando geotecnologia, Espírito Santo (ES)-Brasil. **Revista Geográfica Venezolana**, v. 53, n. 2, p. 239-254, 2012.

MEIRELLES, S. P. M. **Análise integrada do ambiente através de geoprocessamento. Uma proposta metodológica para elaboração de zoneamentos**. Rio de Janeiro: UFRJ, 190 p., 1997.

METZGER, J. P. Estrutura da paisagem e fragmentação: análise bibliográfica. **Anais de Academia Brasileira de Ciências**, v. 71, n. 3-1, p. 445-463, 1999.

OLIVEIRA, V. S.; ARAUJO, J. L. L.; DIODATO, M. A. **Uso e ocupação humana em área de corredor ecológico no bioma Caatinga: políticas públicas como meio de satisfação do desenvolvimento sustentável**. In: Anais do VII Encontro da Sociedade Brasileira de Economia Ecológica. Fortaleza, 28 a 30 de novembro de 2007.

RAFFO, J. G. G. O processo analítico hierárquico e seu uso na modelagem do espaço geográfico. **Revista do Departamento de Geografia**, p. 26-37, 2012.

413 SAATY, T. L. A scaling method for priorities in hierarchical structures. **Journal of**
 414 **Mathematical Psychology**, v. 15, p. 234-281, 1977.

415

416 SAHOO, S.; DHAR, A.; KAR, A. Environmental vulnerability assessment using Grey Analytic
 417 Hierarchy Process based model. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 56, p. 145–
 418 154, 2016.

419

420 SAITO, N. S.; MOREIRA, M. A.; EUGENIO, F. C.; FIGUEIREDO, A. C. Geotecnologia e
 421 ecologia da paisagem no monitoramento da fragmentação florestal. **Revista Floresta e**
 422 **Ambiente**, v. 23.2, p. 201-210, 2015.

423

424 SANTOS, C. R. **Alternativa metodológica para alocação de corredores ecológicos**
 425 **utilizando modelagem ambiental**. Presidente Prudente. [s.n]. 2017.

426

427 SCHWAIDA, S. F.; CICERELLI, R. E.; ALMEIDA, T.; ROIG, H. L. Desafios e estratégias na
 428 implementação de corredores ecológicos entre áreas protegidas no bioma Cerrado. **Revista**
 429 **Árvore**, v. 41, n. 6, e410611.

430

431 SILVA JUNIOR, C. H. L. Lógica *fuzzy* e processo analítico hierárquico – AHP na avaliação da
 432 qualidade ambiental de nascentes. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia**
 433 **Ambiental**, v. 19, n. 2, p. 292–303, 2015.

434

435 UNESCO. **Vegetação do Distrito Federal: tempo e espaço**. 57 p., Brasília, 2000.

436

437 VAN DER GRIFT, E. A.; VAN DER REE, R.; FAHRIG, L.; FINDLAY, S.; HOULAHAN, J.;
 438 JAEGER, J. A. G.; KLAR, N.; MADRINAN, L. F.; OLSON, L. Evaluating the effectiveness of
 439 road mitigation measures. **Biodiversity and Conservation**, v. 22, p. 425-448, 2013.